

基于GIS的热力管道老旧小区改造规划与实施研究

陈蒙 徐晶晶

天津嘉瑞市政工程有限公司 天津 300202

摘要：老旧小区热力管网改造面临管网数据缺失、空间定位困难、施工协调复杂等痛点。GIS技术通过空间数据整合与分析能力，可实现管网数字化建档、改造方案模拟、施工进度可视化等全流程管理。结合BIM技术构建三维管网模型，能精准识别管道老化程度和布局缺陷。

关键词：GIS的热力管道；老旧小区改造规划；实施

GIS整合管道材质、服役年限、腐蚀点位等数据，通过空间叠加分析识别高危管段，辅助制定优先改造清单。热负荷精准预测，结合建筑年代、户型结构、人口密度等空间数据，预测改造后热力需求变化，优化管道管径设计。

1 GIS在热力管道设计中的应用

1.1 空间分析与路由优化。地形与障碍规避，结合地形高程数据及坡度分析，自动生成管道最优敷设路径，避开地质不稳定区与地下既有设施（如电力、燃气管道），降低施工风险。管网拓扑建模，构建拓扑网络分析管道连通性，验证设计方案的可行性，确保热力输送的可靠性。

1.2 参数化设计与水力计算。管径智能匹配，关联建筑类型、热负荷需求及用户密度数据，自动计算管径规格，提升输送效率并减少能源损耗。水力平衡模拟，通过压力、流量参数的空间模拟，预判管网运行状态，优化阀门位置及泵站布局，解决末端供热不均问题。

1.3 三维协同设计与冲突检测。地下管线碰撞分析，在三维模型中动态检测管道与市政设施（如电缆、水管）的空间冲突，提前调整设计规避施工冲突。非开挖技术集成，结合盾构法、顶进法等非开挖工艺标准，优化管道穿越复杂区域（如道路、河流）的设计方案。

1.4 合规性校验与标准衔接。规范智能校核，嵌入《城镇供热管网设计标准》（CJJ/T34-2022）等规范，自动校验管道间距、埋深、材料强度等参数合规性。荷载安全验算，集成结构设计模块，计算管道支架承重与抗震性能，确保管网全生命周期安全。GIS通过空间建模、动态模拟与规范数字化，推动热力管道设计从经验依赖向数据驱动转型，显著提升设计精度与工程效益。

2 GIS在热力管道监测中的应用

2.1 实时运行状态可视化监测。多参数动态集成，GIS平台集成温度、压力、流量等传感器数据，通过专题

地图实时标注异常管段（如红色高亮超压区域），辅助调度人员快速响应。管网拓扑动态展示，基于空间拓扑关系展示阀门、泵站等设备的联动状态，支持一键查询受影响用户范围及关联设施。

2.2 泄漏检测与精准定位。多技术融合定位，结合声波检测、红外热成像及压力流量突变数据，通过GIS空间分析锁定泄漏点50米范围内坐标，定位精度提升40%。三维泄漏扩散模拟，构建地下管网三维模型，模拟热水扩散路径与土壤温度变化，预判地表异常区域（如植被反常生长）。

2.3 故障智能分析与应急处置。爆管影响域自动计算，输入泄漏点坐标后，系统基于管网拓扑自动计算需关闭的阀门，生成受影响用户清单及最佳抢修路线。历史故障库匹配，关联同类管材、服役年限的泄漏历史数据，推送高频故障点预防性维护清单。

2.4 数据传输与系统集成。异构网络融合，兼容GPRS/4G、无线网桥等传输方式，支持巡检机器人实时回传高清检测数据至GIS平台。SCADA系统联动，与监控系统深度集成，自动调取泄漏点周边阀门状态，实现远程应急关阀操作。

2.5 能效优化与决策支持。水力平衡诊断，基于用户室温反馈与管网末端压力数据，自动生成阀门调节方案，解决冷热不均问题。能效数字孪生，关联气象、能耗历史数据，构建管网运行数字模型，优化供热策略（如低温时段自动降压节能）。

3 老旧小区改造规划关键点

3.1 政策与目标设定。改造范围与时限，明确改造对象为2000年底前建成、设施老化、功能缺失的老旧小区，“十四五”期末（2025年底）力争基本完成改造任务。分级分类施策，按基础类（水电气热管线更新）、完善类（加装电梯、停车设施）、提升类（养老托育等公共服务）制定改造标准，杜绝“一刀切”。

3.2 居民参与与需求精准对接。“共同缔造”机制，改造前开展居民意愿调查，通过社区协商解决加装电梯、停车位分配等矛盾，实现“决策共谋、成果共享”。“一小区一方案”，结合体检评估结果（如建筑结构安全、管线隐患）和居民急难愁盼问题（如飞线地下、适老化设施），定制改造方案。

3.3 资金统筹与可持续投入。多元资金分担，采用“中央财政补贴（东/中/西部补贴15%/25%/35%）+地方配套+居民与社会资本共担”模式，平均改造成本约600-3500元/平方米。资源盘活利用，优先将小区边角地、闲置空间用于充电桩、社区食堂等公共服务，通过协议出让土地补充资金。

3.4 技术规范与改造重点安全底线强化，排查地基、墙体等结构隐患，更新老化燃气管线，按规范增设火灾报警系统及无障碍设施。节能低碳改造，重点推进建筑外墙保温、外窗更换、供热设备更新，居住建筑改造后节能率需提高30%。集约化施工，整合供水、供电、热力等多系统改造，推行“一次开挖、多网联动”，减少重复扰民。

3.5 长效管理机制。“建管并重”原则，改造同步制定小区管理规约，明确物业或业主自治模式，维护改造成果。数字平台赋能，建立社区级数字孪生系统，纳入城市更新信息库，支撑未来20年设施维护决策。改造核心逻辑：以“体检”找问题→以“共治”定方案→以“分类”控成本→以“技术”保质量→以“机制”促长效，实现居住安全、功能完善、能效提升三重目标。

4 如何在老旧小区改造中平衡居民生活需求

4.1 需求精准识别与分级机制。“体检+调研”双轨诊断，通过专业机构评估基础设施隐患（如管线老化、结构安全），同步开展全覆盖居民问卷调查与听证会，识别高频需求（如加装电梯、停车位增设为TOP3诉求）。需求分级与菜单化改造，将需求划分为三类：基础类（必改）：供水供电、消防设施更新（政府承担80%-100%费用）；完善类（可选）：电梯加装、外墙保温（居民按楼层系数分摊30%-50%）；提升类（拓展）：养老托育设施（社会资本通过运营权回收投资）。

4.2 成本共担与资源优化配置。“四源筹资”模式，中央财政补贴（东/中/西部补15%/25%/35%）；居民自筹（户均≤500元小额项目，或电梯按楼层系数分摊）；社会资本参与（如北京项目社会资本占33%，以社区商业运营权置换投资）；闲置资源盘活（边角地建充电桩，收益反哺改造）。资金向民生痛点倾斜，优先保障基础

类改造（如片区88.6公里线缆整治），再按居民投票排序分配完善类资金。

4.3 实施过程动态调解冲突。“共同缔造”协商平台，针对加装电梯、车位分配等矛盾，建立“街道+业委会+楼栋代表”三级协商组（如小区化解90%争议）。集约化施工减少扰民，整合水电气热改造“一次开挖”，工期压缩40%。

4.4 长效服务与空间活化。“五社联动”管养机制，社工组织+社区志愿者+公益资源协同维护，如武汉知音东苑组建居民“美化队”自治。闲置空间功能复合化，将废弃车棚改造成养老驿站（上海案例）11，或利用楼顶建光伏发电+休闲花园。平衡关键点：基础需求保底线：消除安全隐患（如更新燃气管线）需100%覆盖；差异需求弹性化：通过“菜单选择+成本分摊”满足个性化（如电梯分层付费）；长远需求留接口：数字平台预留未来智慧化升级模块。通过需求分级响应、成本合理分摊、实施柔性协商，实现“安全底线刚性保障、品质提升弹性满足”的可持续平衡。

5 老旧小区热力管道改造规划考虑因素

5.1 管网现状评估与技术适配。老化程度诊断，排查铸铁管、镀锌钢管等材质管道的腐蚀、堵塞及保温层脱落情况，优先更换服役超30年或存在泄漏风险的管道。系统兼容性设计，集中供暖改造：增设混水降温装置解决地暖阻力平衡问题（因地暖阻力为暖气片的10倍）；独立供暖升级：匹配壁挂炉功率与地暖需求，避免水温过高损坏管材。建筑结构限制应对，评估层高与承重能力（地暖需占3-5cm层高），采用薄型地暖模块或预制沟槽技术适应低矮空间。

5.2 安全与效能提升措施。安全红线强化，更新存在占压、临近密集区的燃气管线，按规范增设火灾报警系统及补偿器。节能增效改造，外墙保温同步施工，改造后建筑节能率需提升30%；安装水力平衡阀解决“远冷近热”问题，优化管网末端供热效果。材料与工艺升级，淘汰灰口铸铁管，采用预制保温管（如PE-RT II型）提升耐腐蚀性与寿命。

5.3 居民协调与成本控制。需求分级落地，推行“基础类必改（政府承担80%-100%费用）+完善类可选（居民分层分摊）”的菜单式改造。集约化施工减扰，整合水电气热管线“一次开挖”，缩短工期40%（参考北京平谷案例）。成本优化策略，管材占比控制在总成本35%以内，利用边角地建充电桩等设施反哺资金。

5.4 政策衔接与长效运维。政策刚性要求，符合《住宅项目规范》（GB 55038-2025）强制条款：供暖系统设

计寿命需达25年。智慧化预留接口，改造同步敷设传感器管线，支撑未来接入城市供热数字孪生平台。建管协同机制，明确物业或业主自治责任，制定管道清洗、保温层检修等年度维护计划。

6 老旧小区热力管道改造资金筹集与管理

6.1 资金筹集模式与责任划分。“四源共担”筹资结构，中央财政补贴：按地域差异化补贴（东/中/西部地区分别补贴15%/25%/35%），优先保障基础管道更新；地方配套资金：纳入城市更新专项债支持范围（如内蒙古2024年发行专项债9.3亿元）；居民合理分摊：按“受益付费”原则分层分担，基础管网改造居民承担 $\leq 10\%$ （如梁山小区居民分摊6元/m²）；社会资本参与：通过特许经营、社区商业开发权置换投资（如杭州项目社会资本占30%）。

6.2 成本控制与资源活化。集约化施工降本，整合水电气热管线“同步开挖”，缩短工期40%以上（参考北京平谷案例），管材成本占比控制在总投入35%以内。闲置资源反哺资金，利用小区边角地、屋顶空间建设充电桩或社区商业，收益补充改造资金。严控管线迁移费用，电梯加装关联热力管线迁移实行定额管控（如标准 ≤ 10 万元/台），超支需“一事一议”审批。

6.3 资金管理与长效保障。专用账户+动态监管，设立供热保障资金专户（如包头市要求分级管理），配套数字平台实时监测资金流向与工程进度。运维资金可持续机制，明确管网移交后维护责任：物业/供热企业负责日常养护，政府提供年度维修奖补；推行“一站一日一核算”模式，通过能耗大数据优化后续投入（北京热力案例）。政策刚性约束，改造需符合《住宅项目规范》（GB 55038-2025），确保系统设计寿命 ≥ 25 年，违者追责。典型实践：内蒙古：中央补贴+专项债+社会资本组合筹资，2024年投入12.7亿元更新供热管网；小区：居民仅承担15%成本（6元/m²），其余由中央补贴+热力企业分担。关键原则：基础安全零缺口：燃气管网占压改造等安全项目资金优先级最高（100%保障）；弹性需求市场化：养老驿站等增值服务通过特许经营吸引社会资本；智慧化预留接口：改造同步敷设传感器管线，支撑未来接入城市供热数字平台。

7 GIS与其他技术结合在热力管道中的应用

7.1 GIS+物联网（IoT）：实时监测与预警。动态参数监测，在管道关键节点部署温度、压力、流量传感器，通过GIS地图实时可视化展示运行状态，异常数据自动触发报警（如压力突变 $> 10\%$ 时定位泄漏点）。设备健康管理，结合传感器数据与GIS空间位置，建立管道腐蚀、阀门老化等风险预测模型（如热力系统故障率降低60%）。

7.2 GIS+人工智能（AI）：智能决策优化。负荷预测与调控，融合气象数据、用户用热习惯，通过AI算法预测区域热负荷（准确率97%），指导热源智能调度。故障诊断与应急响应，基于历史事故数据训练AI模型，自动生成抢修路径（如上海系统实现8分钟故障定位），GIS空间分析快速圈定影响范围。

7.3 GIS+三维/BIM：空间精细化管控。地下管网可视化，构建三维管线数据库，精准标注管道埋深、材质及周边构筑物关系，规避施工冲突（如开挖前碰撞检测）。AR辅助现场作业，维修人员通过AR眼镜叠加GIS管线数据，实时定位地下设施（如阀门井偏差 $< 5\text{cm}$ ）。

7.4 GIS+移动端：巡检与协同效率提升。移动化巡检管理，外勤人员通过APP拍照上报隐患，自动关联GIS坐标（如焊口点定位精度达厘米级）。工单智能派发，客服系统对接GIS地图，按空间就近原则自动分配维修任务，响应速度提升5倍。创新应用亮点，数字孪生预演，模拟管道扩容、热源切换等场景，预判管网承压能力（如沈阳试点避免80%改造风险）。能耗空间分析，关联建筑保温数据与管网热损失模型，识别高能耗管段优先改造（节能率达25%）。

总之，GIS通过空间分析、实时预警与多系统协同，推动热力管道监测从被动响应向主动预控转型，大幅提升管网安全性与能效管理水平。

参考文献

- [1]张海燕.关于GIS的热力管道老旧小区改造规划与实施探讨.2022.
- [2]赵晓丽.基于GIS的热力管道老旧小区改造规划与实施分析.2023.